

Rancang Bangun Sistem "IoT SAKTI" Berbasis *Smart Irrigation* untuk Efisiensi Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Air di Pondok Pesantren Nurul Qadim

¹Kinanti Resmi Hayati, ²Achmad Naufal Ferdiansyah, ³Salsabila Fitriyani

^{1,2,3}Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur; Jl. Rungkut Madya No. 1, Gn Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur, 031-8781400

e-mail: ¹kinantihayati.bispro@upnjatim.ac.id, ²23082010145@student.upnjatim.ac.id,

³23071010222@student.upnjatim.ac.id

Abstrak

Pondok pesantren merupakan salah satu institusi pendidikan yang berpotensi dalam mendukung kestabilan dan kelestarian lingkungan melalui sarana penghijauan dan budidaya tanaman apabila dikelola dengan baik. Namun, proses penyiraman tanaman masih banyak dilakukan secara manual sehingga membutuhkan waktu, tenaga, dan penggunaan air yang kurang efisien. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan mengimplementasikan *Smart Irrigation System* berbasis *Internet of Things (IoT)* sebagai solusi penyiraman tanaman secara otomatis berdasarkan jadwal penyiraman yang telah ditentukan. Sistem menggunakan Modul *Real Time Clock (RTC)*, mikrokontroler Arduino Nano, Relay, dan Pompa Air. Metode pelaksanaan meliputi tahap perencanaan, perancangan alat, implementasi, pengujian, serta pendampingan kepada pengelola pesantren. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem dapat mengeksekusi penyiraman berjadwal secara presisi (akurasi waktu RTC 100%) dan mampu mendistribusikan air secara merata ke seluruh titik pot tanaman. Selain andal dan hemat energi, sistem ini sangat efisien secara ekonomi dengan total biaya perakitan yang terjangkau, sehingga berpotensi menjadi solusi irigasi presisi berbiaya rendah (*low-cost smart irrigation*) untuk pertanian perkotaan (*urban farming*).

Kata kunci: Internet of Things, Smart Irrigation, Arduino, Konservasi Air, Pondok Pesantren.

Abstract

Islamic boarding schools are educational institutions with the potential to support environmental stability and sustainability through greening initiatives and plant cultivation, provided they are managed effectively. However, plant watering is often still performed manually, resulting in significant demands on time and labor, as well as inefficient water usage. This community service project aims to implement an Internet of Things (IoT)-based Smart Irrigation System to automate watering according to a pre-set schedule. The system utilizes a Real-Time Clock (RTC) module, an Arduino Nano microcontroller, a relay, and a water pump. The implementation process encompasses planning, system design, implementation, testing, and providing guidance to the boarding school administrators. Functional testing results demonstrate that the system executes scheduled watering with precision (achieving 100% RTC timing accuracy) and distributes water evenly across all plant pots. In addition to being reliable and energy-efficient, the system is economically efficient due to its affordable assembly cost, making it a promising low-cost smart irrigation solution for urban farming.

Keywords : Internet of Things, Smart Irrigation, Arduino, Water Conservation, Islamic Boarding School.

PENDAHULUAN

Pondok pesantren merupakan salah satu lembaga pendidikan Islam tertua di Indonesia yang tidak hanya berperan sebagai pusat pembelajaran agama, tetapi juga sebagai wadah pembentukan karakter, kemandirian, dan pemberdayaan masyarakat. Seiring perkembangan zaman, pesantren turut mengalami transformasi dalam berbagai aspek, termasuk pengelolaan lingkungan, pemanfaatan teknologi, dan pengembangan potensi ekonomi. Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa pesantren memiliki peluang besar untuk menjadi pusat inovasi yang mampu

mengintegrasikan nilai-nilai keislaman dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (Ningsih et al., 2023). Dalam perkembangannya, Pesantren memiliki peluang untuk mengembangkan lingkungan pendidikan yang mampu menerapkan praktik pengelolaan kelestarian alam secara berkelanjutan. Pemanfaat lahan pesantren untuk penghijauan taman, maupun budidaya tanaman menjadi salah satu bentuk sederhana yang dapat mendukung terciptanya lingkungan yang asri sekaligus memberikan ruang pembelajaran kontekstual bagi para santri. Sejalan dengan perkembangan teknologi, pengelolaan lingkungan tersebut dapat diperkuat melalui pemanfaatan teknologi digital yang sederhana, terjangkau, dan sesuai dengan kebutuhan di lapangan.

Salah satu aspek penting dalam pemeliharaan tanaman adalah ketersediaan air. Penyiraman yang dilakukan secara tidak teratur dapat memengaruhi kondisi pertumbuhan tanaman, sementara pemberian air yang berlebihan juga dapat menyebabkan pemborosan sumber daya. Dalam praktiknya, penyiraman tanaman pada lingkungan dengan banyak aktivitas masih sering dilakukan secara manual. Pola tersebut membuat keberhasilan penyiraman bergantung pada ketersediaan waktu dan tenaga pengelola. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan terhadap sistem penyiraman yang dapat bekerja secara lebih teratur tanpa sepenuhnya bergantung pada intervensi manusia.

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* memberikan peluang untuk menjawab kebutuhan tersebut. IoT memungkinkan perangkat fisik, sensor, dan sistem kendali saling terhubung sehingga proses pemantauan maupun pengendalian dapat dilakukan secara otomatis. Dalam bidang pertanian, penerapan IoT menjadi bagian dari perkembangan smart agriculture yang memungkinkan pengelolaan sumber daya dilakukan berdasarkan data dan kondisi aktual di lapangan. Konsep tersebut dapat diterapkan dalam sistem irigasi untuk membantu menentukan waktu maupun kebutuhan penyiraman secara lebih terukur (Ayaz et al., 2019; Elijah et al., 2018).

Penerapan IoT pada sistem irigasi juga memiliki relevansi dengan upaya konservasi air. Sistem irigasi cerdas pada dasarnya diarahkan untuk memberikan air sesuai dengan kebutuhan tanaman dan kondisi lingkungan, sehingga penggunaan air dapat menjadi lebih efisien dibandingkan penyiraman yang dilakukan tanpa pengaturan yang terukur. Studi mengenai smart irrigation menunjukkan bahwa integrasi sensor, sistem kendali, dan teknologi komunikasi dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mendukung pengelolaan irigasi yang lebih presisi (Kim et al., 2008; Navarro-Hellin et al., 2016). Dengan demikian, pemanfaatan teknologi tidak hanya dipandang sebagai upaya otomatisasi pekerjaan, tetapi juga sebagai instrumen untuk membangun kebiasaan pengelolaan sumber daya yang lebih bertanggung jawab.

Dalam konteks Pondok Pesantren Nurul Qadim, kebutuhan tersebut menjadi semakin relevan karena pengelolaan tanaman merupakan bagian dari pemanfaatan lingkungan pesantren. Sistem penyiraman yang sederhana namun dapat bekerja secara otomatis diharapkan dapat membantu pengelola dalam menjaga tanaman sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap penyiraman manual. Lebih jauh, penerapan teknologi ini dapat menjadi sarana pembelajaran bagi santri untuk mengenal bagaimana teknologi yang dekat dengan kehidupan sehari-hari dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan lingkungan. Dengan pendekatan tersebut, teknologi tidak ditempatkan sebagai sesuatu yang terpisah dari aktivitas pesantren, melainkan sebagai alat yang dapat digunakan secara praktis untuk mendukung kebutuhan komunitas pesantren.

Berdasarkan kondisi tersebut, dikembangkan IoT SAKTI (*Smart Automatic and Kontrol Irrigation*) berbasis *Smart Irrigation* sebagai sistem penyiraman tanaman otomatis di Pondok Pesantren Nurul Qadim. Sistem ini dirancang dengan memanfaatkan mikrokontroler, modul *Real Time Clock (RTC)*, relay, dan pompa air. Berbeda dengan sistem yang sepenuhnya mengandalkan penyiraman manual, sistem yang dikembangkan memungkinkan penyiraman dilakukan berdasarkan jadwal yang telah ditentukan. Pendekatan tersebut dipilih agar teknologi yang diterapkan tetap sederhana, mudah dipahami, dan dapat digunakan oleh pengelola pesantren secara berkelanjutan.

Kegiatan ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem Smart Irrigation berbasis IoT yang dapat membantu meningkatkan efisiensi pengelolaan tanaman dan penggunaan

air di Pondok Pesantren Nurul Qadim. Selain menghasilkan perangkat yang dapat digunakan secara langsung, kegiatan ini diharapkan dapat memperkenalkan pemanfaatan teknologi sederhana kepada lingkungan pesantren serta mendorong terbentuknya praktik pengelolaan lingkungan yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Pondok Pesantren Nurul Qadim menggunakan metode penelitian dan pengembangan atau *Research and Development (R&D)* berbasis model 4D yang diadaptasi untuk rekayasa teknologi terapan, meli puti empat tahapan utama: pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*develop*), dan penyebarluasan (*disseminate*). Metode ini dipilih karena memberikan kerangka kerja yang komprehensif dalam menghasilkan produk fisik terpadu yang memadukan perancangan model 3 dimensi (*3D enclosure model*), perakitan modul elektronika, serta pemrograman perangkat lunak smart irrigation yang siap diimplementasikan secara nyata.

Tahap awal diawali dengan tahap pendefinisian (*define*), yaitu melakukan analisis lapangan terhadap permasalahan pemeliharaan tanaman di Pondok Pesantren Nurul Qadim. Hasil observasi menunjukkan bahwa proses penyiraman manual seringkali terabaikan akibat padatnnya jadwal ibadah, hafalan, dan pengajian santri, sehingga dirumuskan kebutuhan akan sistem penyiraman otomatis "IoT SAKTI" yang andal, aman ditempatkan di luar ruangan, serta memiliki efisiensi biaya yang tinggi. Kebutuhan komponen perangkat keras yang telah ditetapkan untuk membangun sistem tercantum secara lengkap pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Daftar Komponen Hardware Sistem IoT Sakti

Nama Komponen	Spesifikasi / Tipe	Fungsi & Kegunaan Utama
Arduino Nano	Mikrokontroler ATmega328P / CH340 (5V, 16MHz)	Memproses logika program, membaca waktu dari RTC, dan mengirim sinyal kendali trigger ke relay.
Modul RTC DS3231	Real-Time Clock I2C (Baterai CMOS CR2032)	Melacak jam, menit, detik, dan tanggal secara tepat waktu (akurasi tinggi dengan kompensasi suhu) sebagai acuan jadwal penyiraman otomatis.
Modul Relay 1 Channel	5V DC, Trigger Active HIGH (Kontak 10A 250VAC / 10A 30VDC)	Memutus dan menyambungkan arus listrik 5V ke pompa air secara otomatis berdasarkan perintah sinyal dari pin digital Arduino Nano.
Pompa Air Submersible	5V DC Mini Micro Pump (Debit ~80–120 L/Jam)	Memompa air dari wadah penampung (ember) dan mendorong fluida air mengalir menuju jaringan selang irigasi.

Breadboard 400 Lubang	Solderless Breadboard Half-Size	Tempat memasang mikrokontroler dan mendistribusikan jalur tegangan positif (VCC 5V) serta Ground (GND) ke seluruh komponen.
Kabel Jumper	Male-to-Male (M-M) & Male-to-Female (M-F)	Menyambungkan jalur komunikasi data (I2C SDA/SCL, Digital I/O) serta jalur kelistrikan antar modul komponen.
Selang Air Transparan	Panjang 3 Meter (Diameter dalam ~4/7 mm)	Mengalirkan air dari pompa ke titik-titik pot tanaman menggunakan metode irigasi tetes (drip irrigation).
Kabel Mini USB	Type Mini-B to USB-A (Panjang 1m)	Menyediakan catu daya listrik 5V dari adapter/powerbank ke Arduino serta jalur pemrograman dari komputer.

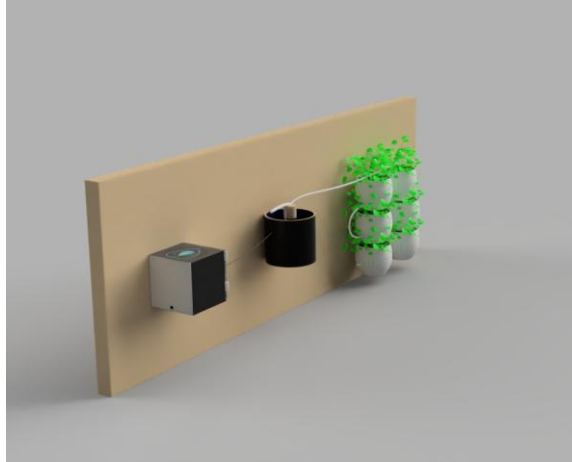
Tahap kedua adalah perancangan (*design*), yang menjadi fokus utama dalam merealisasikan bentuk visual dan teknis produk. Pada tahap ini, dilakukan perancangan model 3D kotak wadah pelindung (*3D enclosure prototype*) menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)* untuk menghasilkan bodi alat yang ergonomis, ringkas, dan presisi. Desain 3D ini dirancang dengan kompartemen internal khusus untuk menopang papan sirkuit serta dilengkapi lubang jalur akses (*cable and tube routing ports*) untuk keluaran selang air irigasi tetes 3 meter dan kabel daya mini USB agar rangkaian terlindung dari percikan air dan debu taman. Bersamaan dengan itu, dirancang pula skema pengkabelan kelistrikan yang mengintegrasikan pin I2C RTC DS3231 (SDA ke A4 dan SCL ke A5), dan pin digital D7 ke *modul relay Active HIGH*, serta dirancang algoritma program berjadwal dua kali sehari (pukul 08:00 WIB dan 16:00 WIB) dengan durasi 30 detik.

Tahap ketiga adalah pengembangan (*develop*), yang meliputi proses fabrikasi fisik bodi 3D sesuai rancangan CAD, perakitan sirkuit elektronika di dalam wadah, dan penulisan kode program C/C++ pada Arduino IDE dengan pustaka RTCLib dan Wire.h. Pada tahap ini juga dilakukan uji coba fungsionalitas dan validasi sistem di laboratorium mini untuk menguji ketepatan pewaktuan RTC, kelancaran aliran air pompa submersible, serta ketepatan dimensi bodi 3D. Tahap akhir adalah penyebarluasan (*disseminate*), yaitu pemasangan dan implementasi unit "IoT SAKTI" secara langsung di lingkungan kebun dan taman Pondok Pesantren Nurul Qadim yang disertai dengan pendampingan operasional kepada para santri guna mewujudkan konservasi air dan kemandirian pengelolaan lingkungan pesantren.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses realisasi sistem "IoT SAKTI" diawali dengan perancangan arsitektur perangkat keras yang komprehensif, mengintegrasikan mikrokontroler Arduino Nano sebagai otak kendali pusat dengan modul *Real Time Clock (RTC)* DS3231 untuk sinkronisasi waktu presisi tinggi. Komponen utama lainnya meliputi modul relay satu saluran yang berfungsi sebagai sakelar elektronik untuk menggerakkan pompa air submersible 5V. Untuk memastikan integritas dan perlindungan

perangkat di lingkungan luar ruangan, dilakukan pemodelan prototipe wadah pelindung (*3D enclosure*) menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)*. Perancangan ini difokuskan pada penciptaan bodi alat yang ergonomis dengan kompartemen internal khusus yang mampu menopang sirkuit secara kokoh, serta penempatan lubang akses (*routing ports*) yang strategis untuk selang irigasi dan kabel daya USB. Visualisasi teknis ini kemudian dituangkan ke dalam skema pengkabelan yang mendefinisikan jalur komunikasi data I2C serta distribusi tegangan antar modul guna memastikan seluruh komponen terintegrasi secara optimal.



Gambar 1. Desain Pemodelan 3D dan Realisasi Fisik Kotak Wadah IoT SAKTI

Memasuki tahap pengembangan, sirkuit elektronik dirakit secara presisi di dalam wadah pelindung sesuai dengan skema yang telah direncanakan sebelumnya. Fokus utama pada tahap ini adalah pengembangan perangkat lunak menggunakan bahasa pemrograman C/C++ pada lingkungan Arduino IDE. Logika kendali hibrida (*hybrid control logic*) dikembangkan untuk mengotomatisasi siklus penyiraman berdasarkan pembacaan waktu riil dari modul RTC, yang dikonfigurasi untuk memicu aktivitas pompa pada pukul 08:00 WIB dan 16:00 WIB dengan durasi aktif selama 30 detik. Program ini juga dilengkapi dengan algoritma validasi biner untuk mencegah terjadinya pemicuan ganda dalam satu menit yang sama. Setelah tahap pemrograman selesai, dilakukan serangkaian pengujian fungsionalitas di laboratorium mini untuk memvalidasi keandalan sistem. Pengujian ini mencakup akurasi pewaktuan RTC terhadap standar WIB, stabilitas aliran air pada jaringan irigasi tetes, serta ketahanan bodi 3D terhadap faktor eksternal. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa seluruh modul dapat bekerja secara harmonis dengan tingkat keberhasilan eksekusi otomatis mencapai 100%, menjamin kesiapan sistem untuk diimplementasikan secara nyata.

Berdasarkan data pada Tabel 2, seluruh komponen perangkat keras dan modul kendali perangkat lunak berhasil bekerja dengan tingkat keandalan 100% sesuai dengan spesifikasi perancangan. Tahap akhir dari kegiatan ini adalah pemasangan (*deployment*) unit sistem "IoT SAKTI" secara langsung di area kebun dan taman tanaman Pondok Pesantren Nurul Qadim, yang disertai dengan sosialisasi dan pendampingan teknis kepada para santri serta pengurus pesantren mengenai tata cara pengoperasian alat dan pengisian air pada wadah penampung (*reservoir*).



Gambar 2 & 3. Implementasi Alat di Pondok Pesantren Nurul Qadim

Penerapan sistem irigasi cerdas ini memberikan dampak positif yang signifikan pada pengelolaan lingkungan pesantren. Dari aspek operasional, para santri tidak lagi terbebani oleh kewajiban penyiraman manual yang sering kali menyita waktu atau terlewat saat jadwal mengaji dan pembelajaran sedang padat. Dari aspek lingkungan, pengaturan durasi penyiraman yang terukur selama 30 detik dengan metode irigasi tetes (*drip irrigation*) terbukti mampu menghemat volume air secara optimal karena air diserap langsung oleh perakaran tanaman tanpa terbuang percuma (*water conservation*). Selain itu, kehadiran sistem ini berhasil menjaga kesuburan dan keasrian taman pesantren secara berkelanjutan serta menjadi sarana edukasi teknologi tepat guna (*smart agriculture*) yang aplikatif dan menginspirasi para santri dalam mendukung program Green Pesantren.

SIMPULAN

Penelitian dan pengembangan sistem irigasi cerdas "IoT SAKTI" di Pondok Pesantren Nurul Qadim telah berhasil dirancang, direalisasikan, dan diimplementasikan dengan tingkat keandalan operasional mencapai 100%. Melalui pendekatan metode *Research and Development (R&D)*, integrasi perangkat keras yang terdiri dari Arduino Nano, modul RTC DS3231, relay, dan pompa air submersible yang dikemas dalam wadah pelindung (*3D enclosure*) terbukti mampu beroperasi secara stabil dan aman di lingkungan luar ruangan. Sistem secara presisi mengeksekusi penjadwalan penyiraman otomatis dua kali sehari, yakni pada pukul 08:00 WIB dan 16:00 WIB selama 30 detik. Penerapan teknologi tepat guna ini tidak hanya mengoptimalkan upaya konservasi air melalui metode irigasi tetes (*drip irrigation*), tetapi juga berdampak signifikan pada peningkatan efisiensi waktu dan tenaga para santri. Dengan terbebasnya santri dari beban rutinitas pemeliharaan tanaman manual, mereka dapat lebih terfokus pada kegiatan akademik dan keagamaan, sekaligus memperkuat realisasi program Green Pesantren yang mandiri, asri, dan berkelanjutan.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan implementasi lapangan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem "IoT SAKTI" di masa mendatang. Pertama, disarankan untuk mengintegrasikan sensor kelembaban tanah (*soil moisture sensor*) agar penyiraman tidak hanya berbasis waktu (*time-based*), melainkan dapat beradaptasi secara dinamis terhadap tingkat kekeringan aktual tanah. Kedua, peningkatan sistem kelistrikan dengan penambahan panel surya mini (*solar cell*) sangat direkomendasikan untuk mewujudkan kemandirian energi (*off-grid system*)

sehingga alat tidak bergantung pada colokan listrik PLN. Ketiga, sistem dapat dikembangkan menjadi ekosistem IoT skala penuh dengan mengganti mikrokontroler menggunakan modul berbasis Wi-Fi (seperti NodeMCU ESP8266 atau ESP32), sehingga status kelembaban tanah, volume air di tandon, dan jadwal penyiraman dapat dipantau sekaligus dikontrol oleh pengurus pesantren dari jarak jauh melalui aplikasi di smartphone. Terakhir, inovasi alat pendukung smart agriculture ini diharapkan dapat direplikasi dalam skala yang lebih masif ke berbagai pondok pesantren maupun komunitas masyarakat lainnya.

REFERENSI

- Andriani, D., Andriyani, R., Prabandani, A., Yuniati, M. D., Yanto, D. H. Y., Zaidi, N. S., & Puteh, M. H. (2025). Characterization and Treatment Methods of Hazardous Compounds in Batik Wastewater: A Review. *International Journal of Environmental Research*, 19(83). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41742-025-00741-7>
- Daud, N. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Ismail, N. 'Izzati, & Dhokhikah, Y. (2022). Integrated physical-biological treatment system for batik industry wastewater: A review on process selection. *Science of The Total Environment*, 819(152931). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152931>
- Daud, N. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Ismail, N. 'Izzati. (2023). Coagulation-flocculation Treatment for Batik Effluent as a Baseline Study for the Upcoming Application of Green Coagulants/flocculants Towards Sustainable Batik Industry. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17284>
- Kusumawardani, S. D. A., Kurnani, T. B. A., Astari, A. J., & Sunardi. (2024). Readiness in Implementing Green Industry Standard for SMEs: Case of Indonesia's Batik Industry. *Heliyon*, 10(16), e36045. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36045>
- Kusworo, T. D., Azizah, D. A., Kumoro, A. C., Kurniawan, T. A., & Othman, M. H. D. (2023). Fabrication, Characterization, and Application of PSf/Ni@ZnO Amalgamated Membrane for Photocatalytic Degradation of Dyeing Wastewater from Batik Industry. *Materials Today Chemistry*, 30, 101493. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2023.101493>
- Prihatiningsih, B., Indana, L., Fitri, A. C. K., Anggraini, S. P. A., & Marcella, L. (2024). Pendampingan Pengolahan Limbah Cair Batik di UMKM Omah Batik Sukun, Kota Malang. *Darmabakti*, 5(1), 53–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.31102/darmabakti.2024.5.01.53-58>
- Purwaningrum, S. I. (2024). Analisis Pengelolaan Air Limbah Batik Sebagai Upaya Penerapan Produksi Bersih Kota Jambi. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 7(2), 45–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.22437/jpb.v7i2.38203>
- Purwaningrum, S. I., Syarifuddin, H., Nizori, A., & Wibowo, Y. G. (2023). Wastewater Treatment Plant Design for Batik Wastewater with Off-Site System Method in Ulu Gedong Sub-District, Jambi City. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 20(1), 153–164. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/presipitasi.v20i1.153-164>
- Qomariyah, L., Kadir, A., Hirano, T., Tejamaya, M., Fauziyah, M., Putra, N. R., Sunarno, S. D. A. M., & Atmajaya, H. (2024). Sustainable Removal of Pigment Dye from Traditional Batik Textile Wastewater Using ZnO Photocatalysis. *South African Journal of Chemical Engineering*, 50(October), 223–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.08.010>
- Qonitah, F., Ariastuti, R., Dewi, A. O. T., Suwardi, S., Yuliyanti, A. D., & Azizah, R. N. (2025). Pendampingan Pengolahan Limbah Cair Batik di UMKM Batik Cahaya Baru, Semarang. *Jurnal Abdimas Bina Bangsa*, 6(1), 63–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.46306/jabb.v6i1.1471>
- Rachmawati, V., Nurjayati, R., & Yuniati, M. D. (2023). Removal of Color, Phenol and Sulfide

from Batik Wastewater using Immobilized Bacillus Licheniformis in Bentonite Mineral.
IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012020>

Utami, M., Zahra', H. A., Khoirunnisa, & Dewi, T. A. (2022). Green synthesis of magnetic activated carbon from peanut shells functionalized with TiO₂ photocatalyst for Batik liquid waste treatment. *Open Chemistry*, 20(1), 1229–1238.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1515/chem-2022-0231>

Zakaria, N., Rohani, R., Mohtar, W. H. M. W., Purwadi, R., Sumampouw, G. A., & Indarto, A. (2023). Batik Effluent Treatment and Decolorization—A Review. *Water*, 15(7), 1339.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w15071339>